

КІЛЬКІСНИЙ РЕГІОНАЛЬНИЙ ПРОГНОЗ ЗСУВНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЗАСОБАМИ ГІС НА ПРИКЛАДІ ПІВДЕННОГО БЕРЕГА КРИМУ

К.Є. Бойко, О.Є. Кошляков

Навчально-науковий інститут “Інститут геології” Київського національного університету імені Тараса Шевченка, вул. Васильківська, 90, Київ 03022, Україна, e-mail: boyko_ekaterina@ukr.net, kosh@univ.kiev.ua

Визначено та обґрунтовано актуальну для сучасної системи моніторингу небезпечних екзогенних процесів методику регіонального прогнозу зсувонебезпечних територій південного узбережжя Криму. Дослідження спрямовано на аналіз територій, в межах яких поширені зсуви неглибокого залягання у делювіально-елювіальному покриві четвертинних відкладів. Висвітлено аспекти застосування сучасних ГІС як інструменту створення картографічних моделей, районування території за ступенем зсувної небезпеки, а також інструменту, що дає змогу отримати кількісну характеристику зсувонебезпечних територій. На прикладі тестової ділянки – південно-західного зсувного підрайону, за допомогою модуля (інструменту) SINMAP побудовано геолого-гідрогеологічну модель, з використанням якої можна класифікувати територію за ступенем індексу її стабільності.

Ключові слова: зсуви у покривних відкладах, зсувні процеси, геолого-гідрогеологічна модель, модуль SINMAP, індекс стабільності.

Вступ. Вивчення природи та механізму утворення зсувів – найпоширенішого та несприятливого екзогенного геологічного процесу на території Південного берега Криму (ПБК), зокрема у його західній частині, триває близько двох століть (з 1785 р. – до сьогодні). Об’єктом фундаментальних досліджень, проведених за цей час, передусім були великі зсувні системи. Так, тривалий період науково-практичною базою вивчення зсувів була Кучук-Койська станція, яка розташована на однойменному зсуві. Тут виконували комплексні дослідження (Н.В. Чурінов, А.П. Ніфатов): вивчали фактори зсувоутворення, розробляли комплекс протизсувних заходів, створювали перші класифікаційні схеми зсувів [2]. Починаючи з 1950-х років такі дослідження вже охоплювали Алупкінську, Симеїзську, Доломійську, Батиліманську та інші зсувні системи. Особливу увагу надавали детальним вишукуванням, що супроводжувалися значними обсягами бурових, гірничопрохідницьких та експертних робіт (П.М. Іванов, І.Б. Корженевський). З метою вивчення різних типів зсувів ПБК були виділені опорні зсуви. Так, як полігон для вивчення зсувів складної будови (зсувних систем) було вибрано опорний зсув “Золотий пляж”, а для дослідження зсувів-потоків – зсув “Фасбурла”. Режимні спостереження (за складовими водного балансу, зміщеннями ґрунту тощо) на опорних ділянках та аналіз факторів зсувоутворення (гідрогеологічних, інженерно-геологічних умов, напруженого стану ґрунтів) виконували у великому масштабі (1 : 2000, 1 : 5000) відповідно до вимог інженерно-геологічних вишукувань у складних умовах.

За накопиченими в результаті довготривалих спостережень даними, які підтверджують кореля-

ційний зв’язок між факторами утворення та активністю зсувів, складено алгоритм часового (А.І. Шеко, О.П. Ємельянова) прогнозу та створено модель просторового (К.А. Гулакян, І.Ф. Єриш) прогнозу прояву зсувних процесів [1].

Однак можливість практичного застосування запропонованих методик прогнозування зсувів на сучасному етапі ускладнюється багатьма обставинами. Зокрема, аналіз розвитку зсувів у часі в межах ПБК здійснюють виходячи із зіставлення динамічних рядів та їх статистичної обробки. На основі безперервних даних довготривалих спостережень будують і порівнюють графіки прояву зсувів та їх факторів, що у подальшому дає змогу встановлювати кореляційні та автокореляційні зв’язки, виявляти циклічність розвитку процесу, а також виконувати аналіз динамічних рядів з урахуванням 11-річного сонячного циклу [4]. На сьогодні, на жаль, такі ряди даних спостережень є неповними, що пов’язано із недофінансуванням моніторингових робіт протягом останніх десяти років та ліквідацією опорних спостережних ділянок.

Таким чином, прогноз розвитку зсувів у часі за методом статистичного аналізу рядів даних нині є проблематичним, оскільки не виконуються необхідні умови математичного моделювання процесу. Водночас застосування площинних і лінійних коефіцієнтів ураження з метою оцінки просторової ураженості території зсувами не відповідає вимогам такої оцінки на досліджуваній території, оскільки в її межах інтенсивно розвивається господарська діяльність, вплив якої на стан геологічного середовища не контролюється відповідними спостереженнями та, відповідно, не може бути оцінений за відносними показниками.

Врешті, основною вимогою сучасної адаптації та ефективного використання методик прогнозу зсувного процесу в межах ПБК є врахування переходу тенденції посиленої активізації від великих зсувних систем до зсувів неглибокого залягання, що зумовлено закріпленням великих зсувів та усуненням основного фактора їх активізації – абразії, та одночасним підсиленням техногенного навантаження на схилах.

Роботи з вивчення, виявлення та оцінювання схильності досліджуваної території до розвитку зсувних процесів із подальшою оцінкою ризику потребує створення та обґрунтування сучасної, адаптованої до нових об'єктів дослідження (зсувів неглибокого залягання), комплексної, доступної для користування основи регіонального прогнозу зсувонебезпечних територій. Відповідно до сформованих на сьогодні вимог раціонального господарського освоєння територій ПБК визначено основний напрям дослідження.

Метою дослідження є створення та обґрунтування алгоритму регіонального кількісного комплексного прогнозу розвитку зсувів неглибокого залягання на підставі залученої інформації попередніх досліджень та використання сучасних інструментів аналізу просторової та атрибутивної інформації – ГІС.

Постановка завдання. Об'єкт дослідження – приповерхневі зсуви та території ПБК, які схильні до їх розвитку. Зсуви неглибокого залягання не пов'язані з тектонічними порушеннями та іншими регіональними факторами, що призводять до незворотних і катастрофічних змін геологічного середовища. В межах цього типу, як правило, розглядають зсуви високих порядків – такі, що утворюються в крайових чи бортових частинах великих зсувних систем, або прості за будовою моногенні зсуви. Поверхні ковзання неглибоких зсувів знаходяться на глибині близько 10 м – у зоні змінного водонасичення, тому вони чітко реагують на сезонні зміни режиму вологості. Так, виявлено лінійний зв'язок між опадами та інтенсивністю зрушень зсуву у східній частині Центральної Алупкінської зсувної системи. Ймовірність утворення чи активізації зсувів неглибокого залягання визначається окремим або комплексним впливом визначених факторів у вигляді техногенного навантаження – підрізки, перевантаження та перезволоження зсувонебезпечних схилів, метеорологічних та гідрогеологічних умов, що визначають міцність і обводнення ґрунтів у зоні аерації. Однак з метою прогнозу оцінки зсувонебезпечних схилів у межах гірського регіону слід урахувати і ті фактори, що визначають загальну природну обстановку території (фактори-умови) [4]. Серед них – особливості літології та стратиграфії, тектонічна роздробленість таврійського флішу, крутість схилів, істо-

рія розвитку рельєфу (наявність давньої ерозійної мережі). Оцінка ваги впливу кожного з факторів на зсувний процес за методикою статистичного моделювання (метод геодинамічного потенціалу, ВСЕГІНГЕО), потребує щорічних візуальних обстежень, які, як зазначено вище, сьогодні не проводять.

Проте безпосереднім відображенням одночасного прояву екзогенних і регіональних ендегенних процесів є рельєф та його параметри. Таким чином, зсуви неглибокого залягання можна розглядати як результат порушення рівноваги утримувальних та зсувних сил на схилі, яке відбувається внаслідок змін геометричних параметрів самого схилу та властивостей вмисних порід. В інженерно-геологічній практиці ступінь такого порушення прийнято відображати через коефіцієнт стійкості схилу. Оцінка середнього (природного), властивого для досліджуваного регіону показника стійкості зсувонебезпечних схилів та його змін (наприклад, довготривалого зменшення, що характеризує стадію зміщення масивів ґрунту), дає змогу виконувати інтегральний аналіз усіх можливих факторів зсувоутворення.

Метод прогнозування зсувних процесів у межах ПБК на основі аналізу змін стійкості схилу в часі уперше запропонували і застосували О.П. Ємельянова [1] та М.В. Коломенський у 1956 р., надалі він був адаптований та втілений у розрахунки співробітниками Кримської зсувної станції. На думку вчених, побудова та аналіз графіків змін коефіцієнта стійкості схилу у часі разом із оцінкою основних чинників, що призводять до цих змін, є основою вдалого прогнозу зсувів. Суттєвим кроком у напрямі регіональної класифікації території ПБК за ступенем інженерно-геологічного ризику на основі використання коефіцієнта стійкості схилу стали дослідження Г.С. Золотарьова. Вчений виконав районування окремих територій ПБК за ступенем стійкості, використавши історико-геологічний метод, згідно з яким кожен генетичний тип схилу (залежно від поширення на ньому певного генетичного типу порід) відзначається власним (у природних умовах) коефіцієнтом стійкості [3]. Цей метод дуже вдало використовували у практичних завданнях інженерної геології, однак лише на локальному рівні – в межах конкретних зсувних систем.

Методика. На сучасному етапі розвитку геологічної науки, що характеризується стрімким розвитком ГІС, ГІС-орієнтованого програмного забезпечення та інтелектуальних баз даних, набули актуальності та практичних аспектів застосування методи регіонального комплексного прогнозування зсувної небезпеки. Досвід використання останніх наведених в роботах [5–9, 13]. Основною перевагою застосування ГІС у вирішенні завдань регіонального прогнозу є можливість використан-

ня цифрової моделі рельєфу високої роздільної здатності (до 30 м) як інформаційної та картографічної основи подальших розрахунків [12]. Високий рівень розвитку ГС дає змогу застосовувати спеціальні програмні інструменти (утиліти) з метою здійснення конкретних розрахунків і створення набору класифікаційних карт.

Все більшого визнання в галузі регіонального прогнозу розвитку зсувів набувають методи геолого-гідрологічного моделювання засобами ГС. На цей час розроблено та впроваджено на практиці розрахункові модулі, за допомогою яких можна оцінити стійкість геологічного середовища на регіональному рівні. Кожен з таких модулів працює на базі програм ArcView, ArcGis і потребує залучення бази даних, що відповідає конкретним розрахунковим критеріям. Модуль (або метод) SMORPH (S. Shaws, D. Jonson, 1995 р.) як критерій розрахунку зсувної небезпеки використовує морфометричні параметри – крутість, кривизну та експозицію схилу, а також параметри, що характеризують геологічні та гідрологічні умови (фізико-механічні властивості порід, вологість тощо) середовища [9]. Популярним є також алгоритм розрахунку SHALSTAB [11], запропонований D.R. Montgomery та W.E. Dietrich у 1995 р. Метод розроблений у Вашингтонському університеті геологічних наук як інструмент оцінки зсувної небезпеки в межах регіонів поширення зсувів, що утворюються в малопотужному чохла різного ступеня обводнення осадкових порід, які залягають на корінних породах. Метод SINMAP (Stability Index Mapping – метод картографування за індексом стабільності) розроблений співробітниками Університету штату Юта за підтримки канадського уряду. За цим методом стійкість схилу розраховують на підставі застосування теорії граничної рівноваги за схемою необмеженого укусу і є прийнятним для розрахунку стійкості схилів, схильних до розвитку зсувів неглибокого залягання (які за механізмом зміщення належать переважно до зсувних процесів) [10]. У стані граничної рівноваги класичний вигляд рівняння розрахунку коефіцієнта стійкості такий:

$$K_{ст} = \frac{M_{утрим}}{M_{зсув}} = \frac{P \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi + cl}{P \sin \alpha}, \quad (1)$$

де $K_{ст}$ – коефіцієнт стійкості схилу; P – вага блока ґрунту; α – кут нахилу площини ковзання (крутість схилу); φ – кут внутрішнього тертя; c – величина зчеплення ґрунту; l – довжина поверхні ковзання розрахункового блока.

Формула розрахунку за методом SINMAP є модифікацією формули (1), в якій враховано вплив гідродинамічного та гідростатичного тиску на стримувальні сили [10]:

$$F_{ст} = \frac{C_s + \cos^2 \alpha [\rho g (D - D_w) + g (\rho - \rho_w) D_w] \operatorname{tg} \varphi}{D \rho g \sin \alpha \cos \alpha},$$

де $F_{ст}$ – коефіцієнт стійкості схилу; ρ – щільність ґрунту; ρ_w – густина води; D – видима потужність зсувних порід; D_w – видима потужність водоносного горизонту; C_s – величина зчеплення ґрунту.

Гідрологічна частина розрахунку полягає у визначенні відносної вологості ґрунту через основні складові стоку підземних вод. Так, відносну вологість ґрунту W (враховуючи, що $W \leq 1$) розраховують за формулою

$$W = \min \left(\frac{R}{T} \frac{a}{\sin \alpha}, 1 \right),$$

де R – коефіцієнт ефективного живлення підземних вод на одиницю площі; T – коефіцієнт водопровідності; a – питома площа водозбору.

Метод апробований на прикладі частини ПБК – південно-західного зсувного підрайону (відповідно до схеми інженерно-геологічного районування). Територія підрайону обмежена із заходу мисом Айя, зі сходу – горами Капель, Урага і Чамни-Бурун, з півночі – підшвою хребта Яйли, з півдня – сучасною береговою лінією Чорного моря. Його найбільша ширина змінюється від 5–6 км на сході до 0,5 км на заході. Протяжність берегової смуги 87 км. Тут на площі 300 км² налічують близько 600 зсувів, більша частина яких належить до зсувів ерозійного та техногенного походження. Досліджувана територія характеризується найбільшим у Криму коефіцієнтом площинної ураженості зсувами – близько 9 %. Зсуви підрайону представлені складними зсувами, що складаються з декількох зсувних рівнів і мають більше однієї поверхні ковзання, а також зсувами неглибокого залягання, що формуються у делювіально-елювіальних відкладах флішової та, частково, карбонатної формацій.

Інженерно-геологічні умови території визначаються наявністю певного комплексу порід різних геолого-генетичних типів. Зсуви південно-західного узбережжя формуються у відкладах пізньопліоценового–четвертинного віку, що залягають на корінних породах – формаціях таврійського флішу. Посторогенний комплекс представлений такими відкладами: пролювіально-зсувними масандрівської світи, алювіальними, зсувними, делювіальними та елювіальними. Середовищем поширення та утворення зсувів неглибокого залягання є елювіальний геолого-генетичний комплекс – кора вивітрювання дочетвертинних порід. Суглинистий та глинистий елювій має властивість переходити у текучепластичний та пластичний стан і сповзати за зволоження схилів, що характеризуються крутістю понад 20°.

Як вхідні дані, необхідні для коректної роботи модуля SINMAP, були використані попередньо підготовлені в програмі ArcView GRID-поверхні, що характеризують просторовий розподіл параметрів та є тематичними шарами (Themes) робочого набору програми:

- цифрова модель рельєфу (ЦМР, або DEM – англ.), побудована на основі космічних знімків 30-метрової роздільної здатності;
- тематичний точковий шар – відображує місця існуючих і виявлених на досліджуваній території зсувів;
- шар районування території, який відображує ділянки (або райони калібрування), що характеризуються певним діапазоном значень фізико-механічних (C і ϕ) та гідрогеологічних (R/T) параметрів геологічного середовища.

Поділ території на розрахункові ділянки виконано відповідно до загальноприйнятої схеми інженерно-геологічного районування території (Г.Д. Неклюдов, Н.П. Строчак, 1976 р.).

Процес обчислення за допомогою модуля SINMAP такий. Спочатку на основі цифрової моделі рельєфу була побудована карта розподілу індексу вологості (рис. 1). Ця процедура подібна до гідрологічного аналізу, що виконується в середовищі програми ArcMap, і передбачає надання кожному пікселю значень напрямку та акумуляції потоку з метою оконтурення гідрологічних басейнів. Далі, на підставі залучення даних з атрибутивної таблиці шару районування території за інженерно-геологічною приналежністю окремих ділянок у поєднанні з розрахованими даними щодо розподілу індексу зволоження, була побудована карта розподілу індексу стабільності (рис. 2).

Слід зазначити, що індекс стабільності набуває подвійного значення, яке відповідає граничним межах стану схилу – стійкому, що формується внаслідок сприятливої комбінації факторів (при $R \rightarrow \min$ та $C, \phi \rightarrow \max$), і нестійкому внаслідок утворення вкрай несприятливих умов.

Отримана в результаті застосування методу картографування за індексом стабільності модель

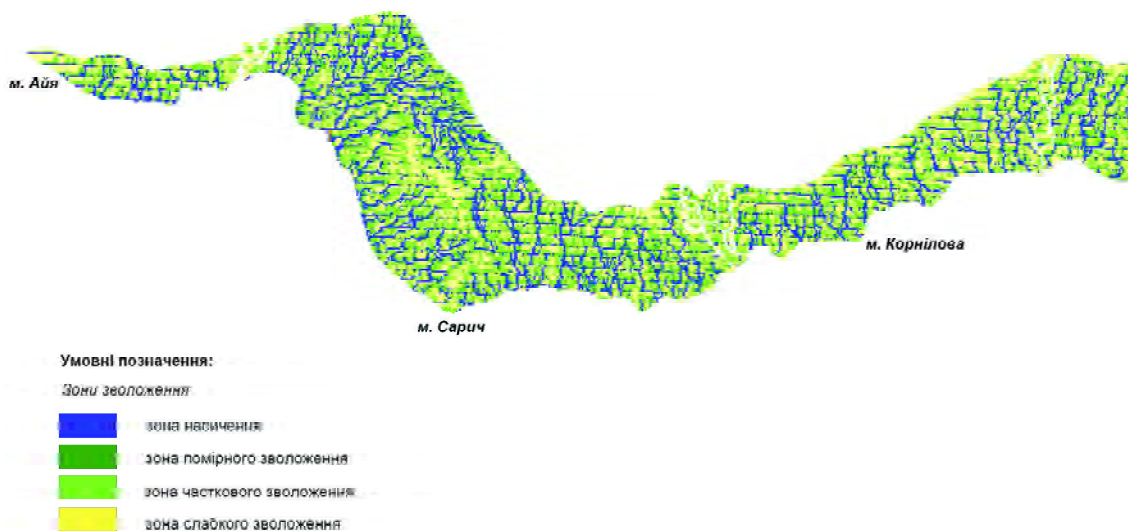


Рис. 1. Карта-схема розподілу індексу вологості, отримана за допомогою модуля SINMAP

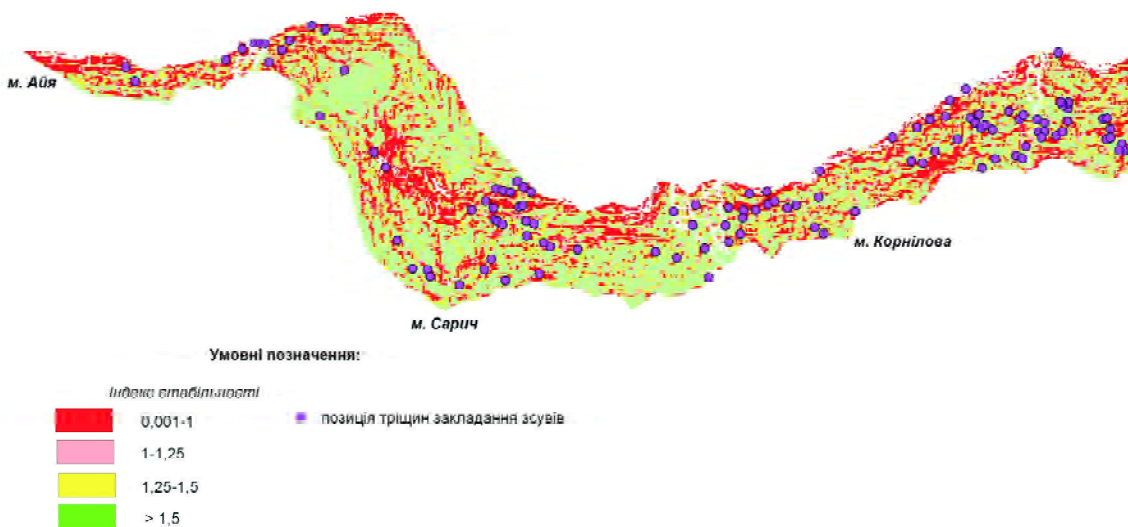


Рис. 2. Карта-схема розподілу індексу стабільності, отримана за допомогою модуля SINMAP

є принциповою схемою районування досліджуваної території за ступенем зсувної небезпеки з позиції дослідження зсувів у покривних відкладах. Статистичний аналіз результатів розрахунку засвідчує, що 20 % території характеризуються несприятливим діапазоном значень коефіцієнта стійкості (від 1 до 1,25), близько 25 % попередньо виявлених і закартографованих зсувів ерозійного генезису утворюються на нестійких схилах. Аналіз комбінації параметрів у часі, наприклад, по сезонах, що відзначаються різною кількістю атмосферних опадів, дає змогу виконувати короткочасовий регіональний прогноз активізації таких зсувів.

Висновки. Метод картографування за індексом стабільності (модуль SINMAP) є інструментом детермінованої оцінки зсувонебезпечних територій. Розроблений закордонними фахівцями з метою оцінки зсувної небезпеки в гірських регіонах, де поширені зсуви у делювіально-елювіальному покриві, цей метод уперше застосований в межах Південного узбережжя Криму з метою прогнозування зсувів неглибокого залягання. Картографічна модель, яку отримано в результаті досліджень, є основою регіонального районування території за ступенем зсувної небезпеки. Близько 25 % попередньо виявлених, обстежених закартованих зсувів знаходяться в межах, визначених за допомогою ГІС-інструменту зсувонебезпечних територій. З метою оцінки ризику в межах досліджуваної території слід розрахувати індекс стабільності, використовуючи як розрахункові ділянки території типізації за техногенним навантаженням.

1. *Емельянова Е.П.* Основные закономерности оползневых процессов / Е.П. Емельянова. – М.: Недра, 1972. – 308 с.
2. *Ерыш И.Ф.* Оползни Крыма. – Ч.1. История отечественного оползневедения / И.Ф. Ерыш, В.Н. Саломатин. – Симферополь: Апостроф, 1999. – 247 с.

3. *Золотарёв Г.С.* Инженерная геодинамика / Г.С. Золотарёв. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 328 с.
4. *Рудько Г.И.* Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты) / Г.И. Рудько, И.Ф. Ерыш. – К.: Задруга, 2006. – 624 с.
5. *Фоменко И.К.* Методология оценки и прогноза оползневой опасности: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – М., 2014. – 318 с.
6. *Dhaka A.S.* Landslide Hazard Mapping and its Evaluation Using GIS: An Investigation of Sampling Schemes for a Grid-Cell Based Quantitative Method / A.S. Dhaka, T. Amada, M. Aniya // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2000. – V. 66. – P. 981–989.
7. *GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard* / [A. Carrara, M. Cardinali, R. Detti] // Earth Surf. Processes and Landforms. – 1991. – V. 16. – P. 427–445.
8. *Goetz J.N.* Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models / J.N. Goetz, R.H. Guthrie, A. Brenning // Geomorphology. – 2011. – V. 129. – P. 376–386.
9. *Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy* / F. Guzzetti, A. Carrara, M. Cardinali, P. Reichenbach // Geomorphology. – 1999. – V. 31. – P. 181–216.
10. *Naqa A.E.* Application of SINMAP Terrain Stability Model Along Amman-Jerash-Irbid Highway, North Jordan / A.E. Naqa, M. Abdelghafoor // EJGE. – 2006. – V. 11. – P. 2–19.
11. *Park D.W.* Landslide and debris flow susceptibility zonation using TRIGRS for the 2011 Seoul landslide event / D.W. Park, N.V. Nikhil, S.R. Lee // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2013. – V. 13. – P. 2833–2849.
12. *Tarolli P.* A new method for determination of most likely landslide initiation points and the evaluation of digital terrain model scale in terrain stability mapping / P. Tarolli, D.G. Tarboton // Hydrol. Earth Syst. Sci. – 2006. – V. 10. – P. 663–677.
13. *Virajh Dias A.A.* Evaluation of Sensitivity of the WAA and SINMAP Models (Static) for Landslide Susceptibility Risk Mapping in Sri Lanka / A.A. Virajh Dias, J.K. Gunathilake // Landslide Science for a Safer Geoenvironment. – 2014. – V. 2. – P. 167–173.

Надійшла до редакції 26.05.2015 р.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ СРЕДСТВАМИ ГИС НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Е.Е. Бойко, А.Е. Кошляков

Учебно-научный институт "Институт геологии" Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, ул. Васильковская, 90, Киев 03022, Украина, e-mail: boyko_ekateruna@ukr.net, kosh@univ.kiev.ua

Определена и обоснована актуальная для современного состояния сферы мониторинга опасных экзогенных процессов методика регионального прогноза оползнеопасных территорий Южного берега Крыма. Исследование ориентировано на анализ территорий, в пределах которых распространены оползни неглубокого заложения в делювиально-элювиальном слое четвертичных отложений. Освещены аспекты использования современных ГИС в качестве инструмента создания картографических моделей районирования территории по степени оползневой опасности, а также инструмента, который позволяет получить количественную характеристику оползнеопасных территорий. На примере тестового участка – юго-западного оползневого подрайона, с помощью инструмента SINMAP построена геолого-гидрогеологическая модель, что дает возможность классифицировать территорию по степени индекса стабильности.

Ключевые слова: оползни в покровных отложениях, оползни сдвига, геолого-гидрогеологическая модель, SINMAP, индекс стабильности.

QUANTATIVE REGIONAL LANDSLIDE HAZARD PREDICTION USING GIS WITHIN SOUTHERN COAST OF CRIMEA

K.Ye. Boiko, O.Ye. Koshliakov

Institute of Geology Taras Shevchenko National University of Kyiv, 90 Vasylkivska Str., Kyiv 03022, Ukraine, e-mail: boyko_ekateruna@ukr.net, kosh@univ.kiev.ua

Landslides on the southern coast of Crimea have been an object of long-term research and exploration. However, the existing techniques to identify landslide formation factors and to predict landslides have grown and of date. This is related to the lack of funding of the monitoring work that provides the database required for landslide predicting, as well as to the change of the research direction – from grand landslide systems to shallow-lying landslides in deluvial-eluvial deposits.

The purpose of the study is to introduce and substantiate the relevant method of regional prediction of landslide distribution and activation in surface deposits.

Design/methodology/approach. We propose to analyze landslide hazard areas based on regional predicting method with GIS means. As the latter, SINMAP tool, or the method of stability index mapping technique, was selected. Using the slope stability factor as a criterion for determining the landslide hazard and geological-hydrogeological approach to analyze landslide formation factors, this technique permits to perform quantitative, i.e. deterministic spatial and temporal predicting of landslide hazard areas. The south-western landslide sub-area was selected as a test site characterized by the highest percentage of damage by landslide forms and numbering around 600 landslides within it, most of which are specifically shallow-lying landslides the activation or formation of which is caused by joint or separate effect of man-caused load (in the form of slope undercutting, overload or overwatering), erosion and weather conditions (in the form of excessive precipitation).

Findings. As a result of the study and calculations a map model has been created constituting the basis for regional zoning of the area according to the landslide hazard degree. The stability index is a probabilistic characteristic of the stability factor, therefore its variation range is from 0 to 1. The sites with the stability index of <1 are characterized as prone to landslides. Around 25 % of the preliminarily identified, examined and mapped landslides are within the landslide hazard areas detected using the GIS tool.

Practical value/implications. The obtained results are significant and necessary in economic planning and efficient land use within the territories of the south-western coast. The strongest predictive performance is achieved by the SINMAP using terrain attributes in combination with land use data.

Keywords: shallow landslides, translational landslides, geological and hydrogeological model, SINMAP, stability index.

References:

1. Emel'yanova E.P. *Osnovnye zakonomernosti opolznevykh protsessov* [Basic laws of landslide processes]. Moscow, Nedra, 1972, 308 p.
2. Erysh I.F., Salomatin V.N. *Opolzni Kryma. - Ch. 1. Istoriya otechestvennogo opolznevedeniya* [Crimean landslides. - P.1. The history of national landslide science]. Simferopol, Apostrof, 1999, 247 p.
3. Zolotarev G.S. *Inzhenernaya geodinamika* [Engineering Geodynamics]. Moscow, MGU, 1983, 328 p.
4. Rud'ko G.I., Erysh I.F. *Opolzni i drugie geodinamicheskie protsessy gornoskladchatykh oblastey Ukrainy (Krym, Karpaty)* [Landslides and other geodynamic processes of mountain regions of Ukraine (Crimea, Carpathians)]. Kiev, Zadruga, 2006, 624 p.

5. Fomenko I. K. *Metodologiya otsenki i prognoza opolznevoy opasnosti. Dis... dokt. geol.-mineral. nauk* [Methodology for estimating and forecasting landslide hazard. D-r Philosophy (geological sci.) diss.]. Moscow, 2014, 318 p.
6. Dhaka A. S., Amada T., Aniya M. Landslide Hazard Mapping and its Evaluation Using GIS: An Investigation of Sampling Schemes for a Grid-Cell Based Quantitative Method. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2000, vol. 66, pp. 981-989.
7. Carrara A., Cardinali M., Detti R. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1991, vol.16, pp. 427-445.
8. Goetz J. N., Guthrie R. H., Brenning A. Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models. *Geomorphology*, 2011, vol. 129, pp. 376-386.
9. Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., Reichenbach P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 1999, vol. 31, pp. 181-216.
10. Naqa A. E., Abdelghafoor M. Application of SINMAP Terrain Stability Model Along Amman-Jerash-Irbid Highway, North Jordan. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2006, vol. 11. pp. 2-19.
11. Park D.W., Nikhil N. V., Lee S. R. Landslide and debris flow susceptibility zonation using TRIGRS for the 2011 Seoul landslide event. *Natural Hazards and Earth Systems Science*, 2013, vol. 13, pp. 2833-2849.
12. Tarolli P., Tarboton P. A new method for determination of most likely landslide initiation points and the evaluation of digital terrain model scale in terrain stability mapping. *Hydrology and Earth Systems Science*, 2006, vol. 10, pp. 663-677.
13. Virajh Dias A. A., Gunathilake J. K. Evaluation of Sensitivity of the WAA and SINMAP Models (Static) for Landslide Susceptibility Risk Mapping in Sri Lanka. *Landslide Science for a Safer Geoenvironment*, 2014, vol. 2, pp. 167-173.

Received 26/05/2015